

**CARBURIZING BAJA KARBON RENDAH ARANG KAYU  
SENGON DENGAN PROSES PENDINGINAN MENGGUNAKAN  
AIR dan OLI DENGAN VISKOSITAS 10W - 40**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

**Oleh :**

**DEVANISHMATA AGNATIA**

**D.200.217.232**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2021**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**CARBURIZING BAJA KARBON RENDAH ARANG KAYUSENGON  
DENGAN PROSES PENDINGINAN MENGGUNAKAN AIR dan OLI  
DENGAN VISKOSITAS 10W – 40**

**PUBLIKASI ILMIAH**

**Oleh :**

**DEVAN ISHMATA AGNATIA**

**D.200.217.232**

**Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:  
Dosen Pembimbing**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'H. Supriyono', with a stylized flourish at the end.

**H. Supriyono, S.T.,M.T.,Ph.D**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**CARBURIZING BAJA KARBON RENDAH ARANG KAYUSENGON  
DENGAN PROSES PENDINGINAN MENGGUNAKAN AIR dan OLI  
DENGAN VISKOSITAS 10W - 40**

**OLEH:**

**DEVAN ISHMATA AGNATIA**

**D.200.217.232**

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari Kamis 04 November  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

**Dewan Penguji:**

**1. H. Supriyono, S.T.,M.T.,Ph.D.**

**(Ketua Dewan Penguji)**

(  )

**2. Ir. Wijianto, S.T., M.Eng. Sc**

**(Anggota I Dewan Penguji)**

(  )

**3. Ir. Pramuko Ilmu Purboputro, M.T**

**(Anggota II Dewan Penguji)**

(  )



**Rois Fatoni, S.T., M.sc., Ph.D**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 15 November 2021

Penulis



Devan Ishmata Agnatia

D.200.217.232

# **CARBURIZING BAJA KARBON RENDAH ARANG KAYU SENGON DENGAN PROSES PENDINGINAN MENGGUNAKAN AIR dan OLI DENGAN VISKOSITAS 10W – 40**

## **Abstrak**

Tujuan dari penelitian ini adalah carburizing baja karbon rendah arang kayu sengon dengan proses pendinginan menggunakan air dan oli dengan viskositas 10W-40. Pada penelitian ini dilakukan kajian partikel arang kayu Bengkirai yang di hasilkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna dan menggunakan metode tumbukan dengan model shaker mills. Carburizing dengan pendinginan menggunakan air dan oli dengan uji mikro, kekerasan dan tarik untuk mengetahui seberapa besar pengaruh terhadap perubahan material, untuk mengetahui kekerasan material, untuk mengetahui sifat mekanis. Hasil dari uji struktur mikro, pack carburizing dengan pendinginan menggunakan oli SAE 10W-40 mempunyai jumlah kristal perlit banyak dari kristal ferit,. hasil uji kekerasan pack carburizing dengan pendinginan menggunakan air mempunyai nilai tertinggi dengan nilai rata-rata 471,8 VHN. Hasil uji Tarik pack carburizing dengan pendinginan menggunakan air mempunyai kekuatan tarik tertinggi dengan nilai rata-rata sebesar 632,27 MPa

**Kata Kunci:** carburizing, pendinginan, Arang Sengon, struktur mikro, kekerasan, tarik

## **Abstract**

The purpose of this research is carburizing low carbon steel, sengon wood charcoal by cooling process using water and oil with a viscosity of 10W- 40. In this study, a study of Bengkirai wood charcoal particles produced from incomplete combustion and using the collision method with the shaker mills model was carried out. Carburizing by cooling using water and oil with micro test, hardness and tensile to find out how much influence on material changes, to determine the hardness of the material, to determine the mechanical properties. The results of the microstructure test, pack carburizing with cooling using SAE 10W-40 oil has a large number of pearlite crystals from ferrite crystals. The result of pack carburizing hardness test by cooling using water has the highest value with an average value of 471.8 VHN. Tensile test results of pack carburizing by cooling using water have the highest tensile strength with an average value of 632.27 MPa

**Keywords:** carburizing, cooling, Sengon charcoal, microstructure, hardness, tensile

## **1. PENDAHULUAN**

Logam mempunyai peranan penting dalam kehidupan manusia, hampir semua kebutuhan manusia tidak lepas dari unsur logam. Karena alat-alat yang digunakan

manusia terbuat dari unsur logam, misalnya baja. Baja merupakan salah satu logam yang banyak digunakan dalam dunia teknik, karena memiliki sifat ulet, mudah dibentuk, kuat maupun mampu keras. Selain itu baja dengan unsur utama Fe dan C biasa dipadukan dengan unsur lain seperti Cr, Ni, Ti dan sebagainya, untuk mendapatkan sifat mekanik seperti yang diinginkan. Karbon merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja.

Kandungan karbon didalam struktur baja akan berpengaruh terhadap sifat mampu keras. Sifat ini dibutuhkan untuk komponen mesin yang saling bergesekan atau karena fungsinya harus mempunyai kekerasan tertentu. Kekerasan pada komponen mesin yang terbuat dari baja, dapat diperoleh melalui proses perlakuan panas.

Baja dengan kadar karbon menengah sampai tinggi dengan kandungan karbon diatas 0,3%, dapat ditingkatkan kekerasannya dengan metode perlakuan panas (heat treatment), seperti pengerasan (hardening) yang dilakukan dengan pengejukan (quenching) dilanjutkan temper (tempering). Pengerasan dilakukan dengan memanaskan baja dalam dapur pemanas (furnace), sampai temperature austenite dan didinginkan secara tiba-tiba. Akibat pengejukan dingin dari daerah suhu pengerasan ini, dicapailah suatu keadaan paksa bagi struktur atom yang akan meningkatkan kekerasan. Sedangkan baja yang mempunyai kandungan karbon di bawah 0,3% C, hanya dapat dikeraskan melalui proses penambahan karbon.

Pengerasan permukaan biasanya dibutuhkan untuk poros yang mengalami beban kerja berat, karena biasanya membutuhkan kekerasan dipermukaan tetapi didalam (inti) bajanya masih tetap ulet. Proses penambahan karbon (carburizing) merupakan 2 pengerasan permukaan pada baja karbon rendah, yang bertujuan untuk menambah kandungan karbon agar ditingkatkan kekerasannya. Pack carburizing adalah salah satu metode yang digunakan untuk menambah kandungan karbon pada permukaan baja dengan menggunakan media padat. Bahan yang dimasukkan dalam kotak tertutup dan ruangan diisi dengan arang kayu. Prosesnya memakan waktu cukup lama dan banyak diterapkan untuk

memperoleh lapisan yang tebal (Amstead B.H., 1995:hal 152). Salah satu media pengkarbonan yang berbentuk padat adalah arang kayu.

Penelitian ini menggunakan baja dengan kandungan karbon dibawah 0,3%. Arang kayu sengon sebagai sumber karbon padat, dirubah terlebih dahulu dalam bentuk butiran (serbuk). Bentuk butiran akan membantu proses perubahan karbon padat menjadi gas melalui proses pemanasan. Gas karbon yang dihasilkan akan berdifusi kedalam struktur baja sehingga kadar karbon meningkat. Pemanasan dilakukan pada temperature 850°C, kemudian di tahan selama 1 jam dan di dinginkan menggunakan media air dan oli dengan viskositas 10W - 40.

## **2. METODE**

Alat dan bahan yang digunakan dalam memperoleh data penelitian adalah:

### **2.1 Bahan Penelitian**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagaiberikut :

#### **a. Material Dasar (*Raw Material*)**

Bahan utaman dari penelitian ini adalah baja lunak yang memiliki kadar karbon rendah. Setelah mendapatkan baja sesuai dengan kriteria penelitian, baja tersebut di uji untuk mengetahui komposisinya di Laboratorium Politeknik Manufaktur Ceper.



Gambar 1 Material Dasar

#### **b. Arang sengon**

Arang Sengon adalah bahan utama untuk penelitian ini yang didapatkan dari hasil pembakaran Sengon sampai menjadi arang. Untuk proses pembuatan arang dengan menggunakan tong besi. Kayu Sengon yang sudah dipotong

dimasukkan ke dalam tong kemudian dibakar. Setelah itu ditutup dengan mensisakan lubang kecil agar proses pembakaran tidak padam dan tunggu sekitar 3-4 jam sampai proses selesai. Gambar dibawah adalah arang Sengon yang masih berbentuk bongkahan atau belum ditumbuk serta dimesh.



Gambar 2 Arang Sengon

c. Autosol

Bahan yang digunakan untuk pemolesan material sebelum dilakukan pengujian struktur mikro agar terlihat lebih jelas, lebih halus dan mengkilap dengan menggunakan autosol.



Gambar 3 Autosol

d. Alat Penumbukan (Layah)

Layah digunakan pada saat melakukan proses penumbukan manual yaitu dengan cara meletakkan bongkahan arang ke lempengan layah setelah itu ditumbuk menggunakan penumbuh batu sampai bongkahan arang menjadi halus.





Gambar 4 Alat Penumbukan

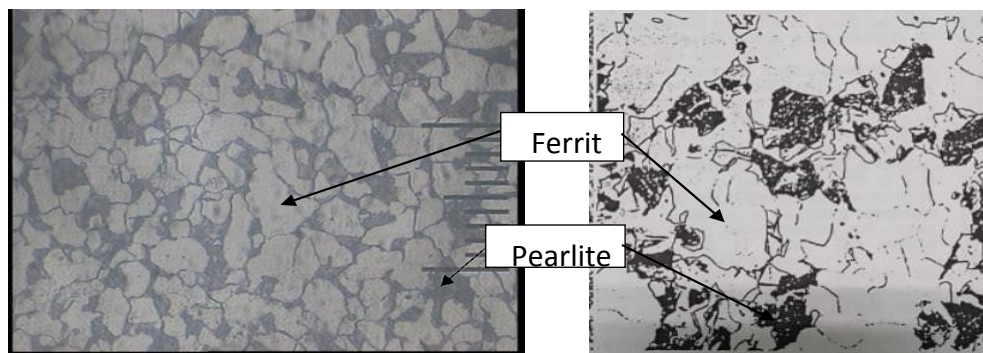
## 2.2 Pembuatan Bahan Uji

Bahan uji yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan baja karbon rendah dan arang kayu Sengon. Ukuran awal serbuk arang Sengon yang digunakan yaitu mesh 200. Proses pemanasan dilakukan dengan temperature  $850^{\circ}\text{C}$ , kemudian di tahanselama 1 jam.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

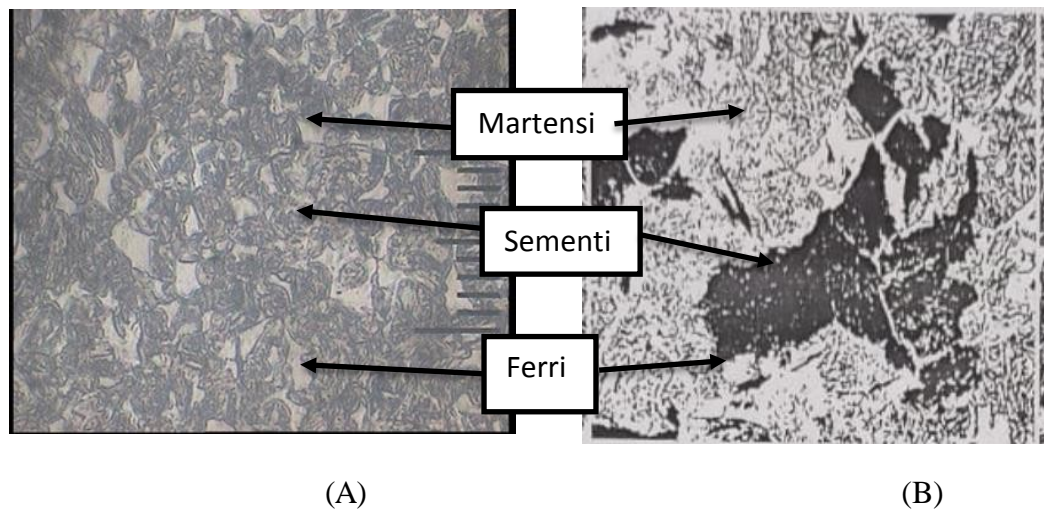
### 3.1 Hasil Pengujian Struktur Mikro

Dari pengujian struktur mikro dengan menggunakan Olympus Metallurgical Microscopes diperoleh gambar sktruktur mikro raw material, carburizing dengan pendinginan menggunakan air dan oli SAE 10W-40. Terlihat pada gambar dibawah ini:

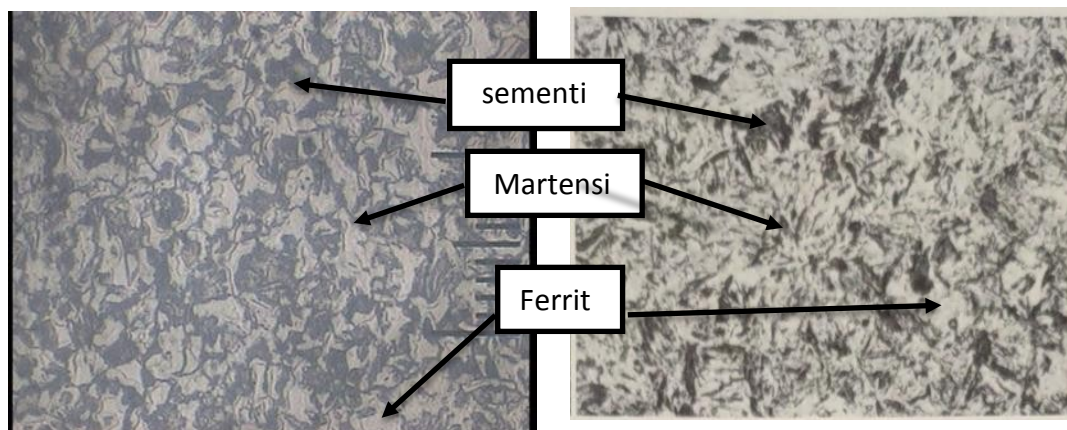


Gambar 5 struktur mikro material dasar baja karbon rendah (rawmaterial)dengan pembesaran 200x dan Struktur Mikro

Buku ASM



Gambar 6 (A) struktur mikro material dasar baja karbon rendah (pendinginan dengan air) dengan pembesaran 200x dan (B) Struktur Mikro Buku ASM



Gambar 7 (A) struktur mikro material dasar baja karbon rendah (pendinginan dengan oli SAE 10W-40) dengan pembesaran 200x dan (B) Struktur Mikro Buku ASM

### 3.2 Pembahasan Pengujian Struktur Mikro

Terlihat pada pengujian struktur mikro pada raw material lebih banyak Kristal ferrit dibandingkan Kristal perlit. Kristal ferrit yang mempunyai sifat lunak lebih banyak mendominasi struktur baja. Sementara Kristal perlit berada diantaranya dengan jumlah lebih sedikit. Perlit yang mempunyai sifat lebih keras dibandingkan ferrit menempati posisi yang tidak teratur.

Pada specimen hasil pack carburizing dengan pendinginan menggunakan air jumlah kristal ferrit dan kristal perlit jumlahnya hampir sama dan batas butir yang terlihat semakin banyak. Pada specimen hasil pack carburizing dengan pendinginan menggunakan oli SAE 10W-40 jumlah Kristal perlit lebih banyak dari kristal ferrit. Penambahan banyaknya butir kristal perlit dan beberapa ada yang menjadi sementit disebabkan karena terjadinya pemasukan karbon pada saat proses carburizing.

Dan pada hasil pack carburizing pada hasil pendinginan dengan oli SAE 10W-40 terlihat lebih kristal ferrit yang terbentuk jauh lebih sedikit hal ini dimungkinkan selain dari pemasukan karbon saat pack carburizing juga disebabkan oleh karena pendinginannya menggunakan oli yang memungkinkan terjadinya pemasukan karbon yang ada pada oli ke permukaan benda.

Pada hasil pengujian pack carburizing juga diketahui bahwa besaran butir kristal fasa mengecil. Hal ini disebabkan oleh karena adanya penambahan karbon saat proses carburizing, dan juga pada proses pendinginan yang terjadi. Karena proses pendinginan menggunakan air dan oli SAE 10W – 40 penurunan temperatur yang sangat besar menyebabkan butiran fasa yang terbentuk menjadi lebih kecil, dan hal ini tentu akan berpengaruh pada nilai hasil kekerasan dan kekuatan tariknya.

### 3.3 Pengujian kekerasan

Kekerasan permukaan material di uji dengan menggunakan metode Vickers. Pada uji mikro Vickers menggunakan 6 titik sampel, beban (P) sebesar 200gf, jarak 150  $\mu\text{m}$  dan waktu pembebanan 5 detik. Hasilkekerasan pada pack carburizing raw material, carburizing dengan pendinginan menggunakan air dan oli SAE 10W-40 dapat dilihat pada tableberikut :

Table 1 Harga kekerasan specimen *raw material*

No	Jarak dari Tepi (mm)	Diagonal			Kekerasan (VHN)
		D1	D2	D rata-rata	
1	0.2	44	44	44	191.53
2	0.4	45	45	45	183.11

3	0.6	45	45	45	183.11
4	0.8	44	44	44	191.53
5	1.0	45	45	45	183.11
6	1.2	44	44	44	191.53

Tabel 2 Harga kekerasan specimen pack carburizing dengan pendinginan menggunakan air

No	Jarak dari Tepi (mm)	Diagonal			Kekerasan (VHN)
		D1	D2	D rata-rata	
1	0.2	26	26	26	548.52
2	0.4	27	27	27	508.64
3	0.6	28	28	28	472.96
4	0.8	28	28	28	472.96
5	1.0	30	30	30	412.00
6	1.2	30	30	30	412.00

Tabel 3 Harga kekerasan specimen pack carburizing dengan pendinginan menggunakan oli SAE 10W-40

No	Jarak dari Tepi (mm)	Diagonal			Kekerasan (VHN)
		D1	D2	D rata-rata	
1	0.2	27	27	27	508.64
2	0.4	28	28	28	472.96
3	0.6	30	30	30	412.00
4	0.8	30	30	30	412.00
5	1.0	35	35	35	302.69
6	1.2	35	35	35	302.69

### 3.4 Pembahasan Pengujian Kekerasan

Pack carburizing mengalami peningkatan kekerasan material di semua bagian baja. Pada pengujian ini untuk specimen pack carburizing dengan

pendinginan dengan air peningkatan harga kekerasan lebih tinggi disbanding dengan specimen pack carburizing dengan pendinginan dengan oli SAE 10W-40 . Harga kekerasan dari ke-3 jenis specimen (raw material, material pack carburizing arang dengan pendinginan menggunakan air dan material pack carburizing arang dengan pendinginan menggunakan oli SAE 10W-40) di uji menggunakan metoda microhardness dengan cara micro Vickers. Pada uji micro Vickers ini menggunakan 6 titik, pembebanan 5 detik, beban (P) sebesar 200gf, dan waktu pembebanan 5 detik. Masing-masing hasil pengukuran kekerasan dijelaskan sebagai berikut :

#### 1) Raw Material

Hasil pengukuran pada table 4.1. menunjukkan harga kekerasan raw material, terlihat adanya kenaikan dan penurunan pada setiap titik pengukuran. Hal ini terjadi karena beberapa faktor penyebab yang mungkin terjadi, diantaranya adalah pada saat pengujian titik-titik yang diambil tidak seluruhnya pada permukaan Kristal ferrit. Misalnya pada titik ke-1, kemungkinan titik tersebut berada pada campuran Kristal ferrit dan perlit. Sedangkan pada titik ke-2 berada pada Kristal perlit dan titik ke-3 pada Kristal ferrit. Sehingga pada titik ke-1 kekerasannya sedang, pada titik ke-2 kekerasannya tinggi dan pada titik ke-3 kekerasannya rendah.

#### 2) Specimen pack carburizing dengan pendinginan menggunakan air.

Specimen ini mengalami pack carburizing selama 1 jam menggunakan arang 200 mesh, dengan pendinginan menggunakan air. Pengujian kekerasan dengan metode micro Vickers dilakukan dari tepi ke arah bagian dalam material, karena atom karbon masuk dari bagian sisi terluar masuk ke dalam struktur baja. Hasil dari pengujian material pack carburizing selama 1 jam menggunakan arang 200 mesh ini dapat dilihat pada table 4.2. Dari tabel tersebut yang digambarkan pada Gambar 4.4 terlihat adanya peningkatan harga kekerasan, mulai dari titik ke-1 dengan harga kekerasan sebesar (548,52 VHN) dan kemudian berangsur menurun hingga titik ke-6 (412 VHN). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan harga kekerasan adalah akibat pengaruh dari proses pack carburizing dan pendinginan menggunakan zat cair (air).

3) Specimen pack carburizing dengan pendinginan menggunakan oli SAE 10W-40

Spesimen ini mengalami pack carburizing selama 1 jam menggunakan arang 200 mesh, dengan pendinginan menggunakan oli SAE 10W-40. Pengujian kekerasan dengan metode micro Vickers dilakukan dari tepi ke arah bagian dalam material, karena atom karbon masuk dari bagian sisi terluar masuk ke dalam struktur baja. Hasil dari pengujian material pack carburizing selama 1 jam menggunakan arang 200 mesh ini dapat dilihat pada table 4.3. Dari tabel tersebut yang digambarkan pada Gambar 4.4 terlihat adanya peningkatan harga kekerasan, mulai dari titik ke-1 dengan harga kekerasan sebesar (508,64 VHN) dan kemudian berangsur menurun hingga titik ke-6 (302,69 VHN). Harga kekerasan menurun dibanding dengan pendinginan menggunakan air. Hal ini menunjukkan bahwa pendinginan menggunakan air dan Oli SAE 10W-40 (kekentalan) berpengaruh terhadap kekerasan spesimen.

Dilihat dari data hasil pengujian kekerasan didapatkan hasil nilai kekerasan paling besar didapatkan dari bagian tepi dan semakin rendah ketika mulai menuju pada bagian tengah spesimen hal ini dimungkinkan terjadi karena pada saat proses carburizing bagian tepi spesimen mengalami kenaikan temperatur terlebih dahulu sehingga carbon lebih cepat masuk dari bagian sisi tepi spesimen, selain itu pada saat proses pendinginan proses penurunan suhu juga terjadi pada bagian tepi dan berangsur ke bagian tengah, hal ini tentu menyebabkan bagian tepi menjadi lebih keras daripada bagian tengah.

Pada hasil spesimen hasil pack carburizing dan dilakukan pendinginan dengan air dan oli SAE 10W – 40 ketika selesai dilakukan uji kekerasan didapatkan hasil bahwa terjadi peningkatan nilai kekerasan, terjadinya peningkatan ini disebabkan oleh karena mengecilnya butiran fasa yang ada dan bertambahnya kristal fasa pearlit dan terbentuknya butiran fasa sementit. Dan pada proses pendinginan dengan air mendapatkan nilai kekerasan paling tinggi dimungkinkan karena pendinginan dengan air terjadi penurunan temperatur yang lebih cepat dari oli sehingga permukaan benda menjadi lebih keras.

### **3.5 Pengujian Tarik**

Pengujian tarik dilakukan dengan tiga variabel spesimen tarik, yaitu raw material, specimen pack carburizing dengan pendinginan menggunakan air dan oli SAE 10W-40. Spesimen uji raw material ialah baja karbon rendah, specimen pack carburizing dengan pendinginan menggunakan air adalah specimen uji yang telah melalui pack carburizing kemudian mengalami pendinginan menggunakan air, specimen pack carburizing dengan pendinginan menggunakan oli SAE 10W-40 adalah specimen uji yang telah melalui pack carburizing kemudian mengalami pendinginan menggunakan oli SAE 10W-40. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan alat uji tarik servo pulser dengan pembebanan 2 Ton dan merujuk pada ASTM D638.

## **4. PENUTUP**

### **4.1 Kesimpulan**

Hasil penelitian dan pengujian serta pembahasan data yang di peroleh sebagai berikut :

- 1) Pada pengujian struktur mikro pada raw material lebih banyak Kristal ferrit dibandingkan Kristal perlit. Kristal ferrit yang mempunyai sifat lunak lebih banyak mendominasi struktur baja. Sementara pada specimen pack carburizing dengan waktu 1 jam menggunakan pack carburizing dengan pendinginan menggunakan air jumlah kristal ferrit dan kristal sementit juga martensit jumlahnya hampir sama dan specimen hasil pack carburizing dengan pendinginan menggunakan oli SAE 10W-40 jumlah Kristal perlit lebih banyak dari kristal ferrit.
- 2) Dengan proses pack carburizing arang kayu sengon nilai kekerasan tertinggi menggunakan pack carburizing dengan pendinginan menggunakan air sebesar 548.52 VHN dengan nilai rata-rata kekerasan 471,18 VHN . Sedangkan untuk raw material 191.53 VHN dengan rata- rata 187,32 VHN dan pack carburizing dengan pendinginan menggunakan oli SAE 10W-40 sebesar 508.64 VHN dengan nilai rata- rata kekerasan 401,83 VHN.

- 3) Dari data uji Tarik dapat disimpulkan bahwa pack carburizing dengan pendinginan menggunakan air mendapat perlakuan memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi dibanding dengan raw material dan pack carburizing dengan pendinginan menggunakan oli SAE 10W-40, dengan kekuatan tarik rata-rata sebesar 632,27 MPa. Sedangkan untuk raw material dan pack carburizing dengan pendinginan menggunakan oli SAE 10W-40 dengan masing-masing kekuatan Tarik rata-rata sebesar 525,19 MPa dan 629,53

#### **4.2 Saran**

- 1) Perencanaan yang matang dalam pengambilan data akan mendapatkan hasil yang terbaik.
- 2) Memperhatikan dengan seksama dalam mempersiapkan alat dan bahan agar melakukan proses penelitian mendapatkan data yang akurat.
- 3) Menaati prosedur yang ada dalam laboratorium dan selalu menerapkan Keselamatan Kesehatan Kerja (K3).

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Amstead, B.H., Ostwald, P.F., dan Begeman, M.L., 1995, Teknologi Mekanik, Jilid 1, Edisi Ketujuh, terj. Djaprie S., Erlangga, Jakarta.
- Bahtiar dkk. (2017). Analisis Kekerasan dan Struktur Mikro pada Baja Komersial yang Mendapatkan Proses Pack Carburizing dengan Arang Cangkang Kelapa Sawit.
- Budinski, G, dan Budinski, K, 1999, Engineering Material-properties and selection, 6 edition, Prentice Hall International, New Jersey, USA.
- Fitri dkk. (2013). Komposisi kimia, Struktur Mikro, Holding Time dan Sifat Ketangguhan Baja karbon Medium pada suhu 780°C. Bandar Lampung.
- Heri Setiawan (2013). Pengaruh Poses Heat Treatment pada Kekerasan Material Special K(100) .kudus



- Nugroho, A., 2008, “Pengaruh Carburizing Arang kayu jati dan Arang Cangkang kelapa dengan Austempering pada Mild Steel (baja lunak) produk pengecoran terhadap sifat fisis dan mekanis”, Tugas Akhir S-1, teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Raza, Mohsan Ali dkk. (2016). Carburising of low-carbon steel using carbon black nanoparticles. King Fahd University of Petroleum & Minerals
- Rianggoro D., 2008, “Pengaruh Carburizing pada Mild Steel (Baja Lunak) Produk Pengecoran Menggunakan Arang kayu Jati dengan WaktuTahan 3 Jam, 4 Jam, dan 7 Jam dengan Austempering Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis”, Tugas Akhir S-1, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Setyono Y., 2012. “Penelitian Sifat Fisis dan Mekanis Baja Karbonisasi dengan Bahan Karbon Arang Kayu Sengon”, Tugas Akhir S-1, Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.